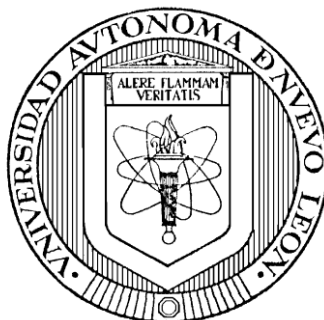


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



**“CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA INTERNA DE
ENTRENAMIENTO EN FONDISTAS UNIVERSITARIOS
MEDIANTE EL TRAINING IMPULSE”**

POR:

LCF LILIANA FABIOLA REYES FERNÁNDEZ

TESIS

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRIA EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE CON
ORIENTACIÓN EN ALTO RENDIMIENTO**

JUNIO, 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



Los miembros del Comité de Titulación de la Subdirección de Posgrado de la Facultad de Organización Deportiva, recomendamos que la tesis **“Cuantificación de la carga interna de entrenamiento en fondistas universitarios mediante el Training impulse”**. Realizada por la Lic. Liliana Fabiola Reyes Fernández, sea aceptado para su defensa como oposición al grado de Maestro en Actividad Física y Deporte con Orientación en Alto Rendimiento.

COMITÉ DE TITULACIÓN


Dr. Germán Hernández Cruz
Asesor Principal


Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero
Co-asesora


MAFyD. Flor Janeth Miranda Mendoza
Co-asesora


Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero
Subdirectora de Estudios de Posgrado e Investigación

San Nicolás de los Garza, Nuevo León
Junio, 2017

Dedicatoria

Hace tiempo leí la siguiente frase que movería muchas cosas dentro de mí:
“Apréndete esto, hijo: en el nidal nuevo hay que dejar un huevo. Cuando te aletíe la vejez aprenderás a vivir...” invariablemente si conocemos el desenlace de sus líneas crearemos una muy buena discusión al respecto... sin embargo no hace falta ir más allá de lo visible para darme cuenta lo mucho que les debo a mis padres y que nunca tendré manera de devolverles y que aunque les dedico este logro que hasta hoy ha sido uno de los monstruos más grandes a los que me he enfrentado por todo lo que ha implicado dejar *“el nidal”* y una de las primeras cosechas de mi trabaja; nunca será comparable con lo que me han dado ustedes.

Dedico también este trabajo a mi hermano Javier por ser ese grillito en mis hombros que siempre ha cuidado de mí, por ser tan buen consejero, hermano, amigo, cómplice y médico de cabecera y que a pesar de todo nunca ha dejado de alentarme a seguir adelante y exigirme en todos los aspectos de mi vida, porque sabe que siempre podré lograr lo que me proponga.

A mí, por nunca rendirme, porque si algo he aprendido es que una vez que das el silbatazo inicial, no queda más que seguir adelante, disfrutando cada momento y afrontando cada situación de la mejor manera, sin temor a equivocarse y segura de cada decisión tomada.

.

Agradecimientos

A mis padres por haberme dado las armas necesarias para ser una persona de éxito y haber forjado mi carácter y con el coraje suficiente para generar la motivación de ir siempre un paso adelante.

A mi hermano Javier, por ser pieza clave en mi vida, ser mi ejemplo, consejero, consacador y principal motivador para salir de la ciudad y emprender esta aventura.

A mi familia Reyes y Fernández por ser quienes son y por sus cuidar de nosotros siempre; a mis primos Mariana, Jaime, Nayver, Ana y Pablo por sus consejos.

Al Doctor Germán Hernández Cruz por ser un excelente líder, guía, maestro y consejero en todos los aspectos; pieza fundamental en mi formación académica, por su ayuda desinteresada y sincera a través de estos dos años de formación, por todas las oportunidades que me brindó y la confianza que me dio al abrirme las puertas de su grupo de trabajo donde he aprendido muchas de las cosas que hoy me hacen una persona más íntegra, responsable y capaz de generar conocimiento.

A la Dra. Blanca Rangel por su apoyo durante toda mi formación, por brindarme la oportunidad de acercarme más a un ámbito del deporte que no conocía, por confiar siempre en mis cualidades, capacidades y sobre todo por ser un excelente ejemplo a seguir.

A la MAFyD Janeth Miranda Mendoza por apoyarme y guiarme en la elaboración de la tesis, sus conocimientos y experiencia fueron importantes para culminar este trabajo, además de que en mis momentos de sentimentalismos siempre tuvo al menos un par de palabras de aliento para no desistir, sin duda será una excelente Doctora.

A la Dra. Rosy Medina, Dr. Oswaldo Ceballos, Dr. Daniel Carranza, Dr. Marco Antonio Enríquez, Raúl Lomas; por su respaldo y apoyo desde mis primeros días y durante mi estancia en Nuevo León; a mis compañeros de Laboratorio, amigos y colegas, Myriam, Sylvia, Bianca, Dani, Amairani, Raúl, Trini, “Messi” y gracias Felipe por permitirme ser parte de tus investigaciones y por resolverme todas las dudas que te preguntara aunque fueran insignificantes.

Al Maestro Rodrigo Iván Aguilar Enríquez, Director de la Facultad de Cultura Física por haber sido participe de lo que en un principio fue un sueño pero hoy es una realidad, gracias.

A mis amigos incondicionales: Erika, Carolina, Andrea, Paola, Paulo, Victor, gracias eternas por existir y por ser parte de mi vida y de mis locuras, ocurrencias y demás.

Y por último pero no menos importante, un agradecimiento especial a Jorge Miguel Azair López, por la confianza depositada en mi trabajo, por permitirme ser parte del equipo, de esa otra familia que encontré en el equipo “TIGRES”, por sus enseñanzas por ser un ejemplo de constancia, trabajo duro, responsabilidad, disciplina y coraje pero sobre todo del significado de alcanzar los sueños no importando lo lejos que puedan estar; finalmente gracias a los miembros del equipo: Rojo, Brandon, Lobo, Rafa, Olaf, Andrei, Cucho, Emilio, Jesús Olimón, Everardo, Néstor, Miguel, Axel, Joshua, Tulio, Arturo, Dani, Edson, Héctor y Jaime, por soportarme siempre y ser mis sujetos de estudio durante un año, gracias infinitas por alegrarme mis tardes, por hacerme sentir útil nuevamente, por darme parte de su tiempo durante meses de entrenamiento, sé que serán hombres exitosos porque ya lo son; nunca se detengan.

FICHA DESCRIPTIVA

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Organización Deportiva

Fecha de Graduación: Junio 2017

L.C.F. LILIANA FABIOLA REYES FERNÁNDEZ

Título de la tesis:	CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA INTERNA DE ENTRENAMIENTO EN FONDISTAS UNIVERSITARIOS MEDIANTE EL TRAINING IMPULSE	
Número de Páginas:	48	Candidato para obtener el grado de Maestría en Actividad Física y Deporte con Orientación en Alto Rendimiento Deportivo
Estructura de la Tesis:	Tesis	
Contexto Temático:	Pista –Estadio Ing. Raymundo “Chico” Rivera de la Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza, N.L. Julio 2016	
Justificación del Tema:	Control de la carga de entrenamiento como herramienta para mejorar el rendimiento deportivo.	
Propósitos:	Cuantificar la carga interna de entrenamiento en fondistas universitarios mediante el training impulse.	
Objetivos de su programa:	Determinar la relación entre la carga interna y externa del entrenamiento durante tres microciclos de entrenamiento del equipo representativo de Atletismo (Fondo y Medio Fondo) de la Universidad Autónoma de Nuevo León.	
Metodología:	No experimental transeccional– causal	
Resultados	Los resultados indican que el s-RPE presenta diferencias significativas entre los microciclos 1 y 2 con respecto al microciclo 3. La variable del TRIMP solo muestra diferencia significativa entre el microciclo 1 con respecto al microciclo 2.	
Conclusiones:	El modelo propuesto por Banister debe contrastarse con otro método de cuantificación.	
Aportaciones y Sugerencias:	Se sugiere utilizar en conjunto con otras herramientas y métodos de monitorización de la frecuencia cardíaca para evitar subestimar o sobreestimar los resultados obtenidos causados por factores externos.	

Tabla de Contenido

1.	Introducción	1
1.2	Planteamiento del problema.....	6
1.3	Marco Teórico	7
1.3.1	Entrenamiento.....	7
1.3.1.2	Periodización Tradicional.....	8
1.3.1.3	Estructura Pendular.....	9
1.3.1.4	Periodización por Bloques.....	10
1.3.1.5	Periodización por Altas Cargas	11
1.3.1.6	Periodización ATR	13
1.3.1.7	Periodización Ondulatoria Diaria	14
1.3.1.8	Periodización por Campanas Estructurales.	14
1.3.2	Carga de entrenamiento	16
1.3.2.1	Carga Externa e Interna	17
1.3.3	Fatiga	18
1.3.3.1	Fatiga Aguda.....	19
1.3.3.2	Fatiga Crónica.....	21
1.3.4	Adaptaciones al entrenamiento.....	21
1.3.5	Control y evaluación del Entrenamiento	23
1.3.5.2	RPE.....	25
1.3.5.3	TRIMP	26
1.3.5.3.1	Banister	28
1.4	Objetivos	34
1.4.1	General.....	34
1.4.2	Específico	34
1.5	Pregunta de investigación	35
Capítulo II	36
2.	Metodología	36

2.1 Metodología	36
2.2 Población.....	36
2.4 Muestra.....	36
2.5 Criterios de Inclusión	37
2.6 Criterios de Exclusión	37
2.8 Procedimiento de Reclutamiento	37
2.9 Variables	38
2.10 Procedimiento	38
2.10.1 Monitoreo de la Frecuencia Cardíaca mediante el <i>TRIMP</i>	39
2.10.2 Cuantificación del esfuerzo percibido de la sesión de entrenamiento (<i>RPE</i>)	40
2.13 Análisis Estadístico	40
Capítulo III.....	41
Resultados	41
Capítulo IV.....	44
Discusión.....	44
Conclusión	49

Lista de figuras

Figura

1. Estructura del plan anual de Matveev.	8
2. Estructura Pendular de Arosiev.....	10
3. Periodización por Bloques.	11
4. Estructura del modelo de periodización por altas cargas propuesto por Tschiene.....	13
5. Periodización por Campanas Estructurales	15
6. Escala de Borg (1970) y Escala CR-10 (1982).	26
7. Índice de demanda global.....	29
8. Modificación de Morton 1990	30
9. TRIMP de Banister	39
10.Resultados del cálculo del sRPE por sesión por microciclo.	42
11.Resultados del TRIMP por sesión de entrenamiento por semana.....	43

Capítulo I

Introducción

El entrenamiento tiene como objetivo mejorar el rendimiento físico deportivo de los atletas hasta conseguir sus niveles más altos, lo que implica prolongadas cargas de entrenamiento que incluyen altos volúmenes e intensidades.

Kiviniemi et al., (2010) indican que un buen entrenamiento requiere la aplicación de cargas físicas y una adecuada recuperación, para restablecer la homeostasis e inducir adaptaciones positivas, las cuales se maximizan al controlar la respuesta individual a los estímulos provocados en las sesiones de entrenamiento mediante la evaluación de la carga interna.

Estudios sobre la monitorización y el control de los marcadores biológicos indican que las mesetas y el declive en el rendimiento máximo de atletas elite, están asociadas a menudo con desequilibrios entre la carga de trabajo y la recuperación (Mazon et al., 2013); de manera que un desbalance entre el estrés generado por el entrenamiento y el tiempo de recuperación, puede desencadenar una respuesta anormal al entrenamiento y desarrollar un estado de sobrecarga, evidenciando la falta del efecto de supercompensación después de determinados periodos o entrenamientos intensos (Minganti, Capranica, Meeusen, & Piacentini, 2011), generando déficit en el rendimiento y desempeño deportivo. Esta reducción de la capacidad del sistema neuromuscular para generar fuerza o lograr determinada tarea se le conoce como fatiga y puede ocurrir a nivel central o periférico dentro del sistema neuromuscular (Walker, Davis, Avela, & Häkkinen, 2012), viéndose afectada la precisión de los movimientos durante diversas tareas que implican coordinación y control motor (Antonopoulos et al., 2014).

Como un auxiliar en la prevención de este tipo de deficiencias físicas, se ha sugerido la evaluación de la carga de entrenamiento, con la finalidad de conocer los estímulos provocados en las sesiones y maximizar la respuesta individual. Se denomina carga a la unidad de entrenamiento completada por el atleta durante un ejercicio dado y existen diferentes métodos para su cuantificación que contribuyen a revelar el estado de fatiga de un atleta (Halsen, 2014; Wallace, Slattery, & Coutts, 2014), sin embargo, es importante conocer la diferencia entre carga externa e interna del entrenamiento, ya que se requiere una comprensión de las demandas del mismo para planificar y dosificar las sesiones, ya que el estímulo generado por el ejercicio, debido al estrés fisiológico relativo, es el causante de las adaptaciones generadas en los atletas y no la carga externa, la cual representa el valor objetivo de trabajo que el entrenador programa para el deportista, de manera que es la carga interna, la que hace referencia al valor individual que un determinado estímulo le ha generado a un deportista en concreto, en función de las características individuales por tanto una misma sesión de entrenamiento no tiene el mismo efecto a nivel individual (Balsalobre-Fernández, 2015; Elloumi et al., 2012).

Es por ello, que otro de los beneficios del control del entrenamiento, además de prevenir lesiones y daños al organismo (Buchheit et al., 2013; Gómez-Díaz, Pallarés, Díaz, & Bradley, 2013), es proporcionar explicaciones científicas a los cambios en el rendimiento y ser útil a la hora de seleccionar y determinar la participación de los atletas que se encuentran listos para las demandas que exige una competición (Halsen, 2014).

Con el fin de entender en mayor medida los efectos del entrenamiento en el organismo, un número potencial de marcadores biológicos están siendo utilizados para controlar la respuesta fisiológica al entrenamiento, sin embargo en su mayoría son invasivos y/o agotadores, lo que los hace difícil de aplicar (Buchheit et al., 2013). En un estudio realizado por Mazon et al. (2013) en donde se analizaron los efectos del entrenamiento sobre la carga interna, utilizaron parámetros hematológicos, sustratos y

enzimas como la Creatin Kinasa, Urea, glucógeno muscular, mecanismos y procesos antioxidantes; además de medir marcadores endócrinos para evaluar los efectos de la periodización del entrenamiento. En otro estudio realizado por Elloumi et al., (2012), en donde monitorearon la carga interna del entrenamiento durante 8 semanas, los autores utilizaron métodos que se auxilian de la frecuencia cardíaca como indicador para evaluar la percepción del entrenamiento, los cuales son ampliamente reconocidos y utilizados en otros estudios.

Por otro lado respecto a la cuantificación de la carga externa se puede recurrir a los softwares como lo son el dispositivo SRM, Power Tap, Motion Analysis (TMA), que funcionan por medio del sistema de posicionamiento global (GPS), otros más como lo son los métodos que se apoyan de la función neuromuscular, como lo son los test de salto (Halsen, 2014).

Aun no se ha alcanzado un consenso sobre cuál es el indicador más preciso de la carga de entrenamiento, pues sus efectos sobre el organismo varían en función del nivel deportivo propio del atleta, de la disposición del atleta y de los problemas metodológicos e instrumentales a la hora de la medición (Balsalobre-Fernández, 2015).

Dentro de la amplia gama literaria que se tiene en el ámbito deportivo respecto al control del entrenamiento, se dice que encontrar el balance óptimo entre carga y recuperación es crucial para el desempeño deportivo y es éste principio de “dosis-respuesta”, entre el estrés generado por la carga (dosis) y las adaptaciones al entrenamiento (respuesta) es el objetivo principal del método propuesto por Banister en 1991 (García-Ramos et al., 2014). El cual, fue desarrollado en un primer momento por Calvert, Banister, Savage & Bach, (1976), basado en la teoría de los sistemas y fundamentado en la función de transferencia como respuesta ante cierto estímulo (carga externa), en el cual se

utilizan parámetros estimados mediante observaciones generadas bajo determinadas circunstancias, al cual denominaron “*training impulse*” o TRIMP; posteriormente Banister & Hamilton, (1985) en otro estudio reafirmaron que el TRIMP funciona como una medida objetiva del desempeño y la fatiga acumulada pero es el modelo propuesto por Banister en 1991 y el cual considera la duración de la sesión (volumen), la frecuencia cardiaca promedio de la sesión de entrenamiento (intensidad) y un coeficiente exponencial que depende del sexo además de ser un indicador global de la carga de entrenamiento (Cuadrado & Grimaldi, 2011), este tipo de modelos matemáticos además de estar ampliamente reconocidos se utilizan para describir y estimar la influencia del entrenamiento físico en el desempeño atlético (Wallace, Slattery & Coutts, 2014).

Debido a que depende totalmente de la frecuencia cardiaca y el modelo no puede diferenciar entre entrenamiento intermitente o continuo para una sesión o la misma duración de la frecuencia cardiaca y su equivalente no es tan productivo; existen modificaciones al modelo propuesto en 1991 con el fin de simplificar y perfeccionar su cálculo además de aplicarlo dependiendo del tipo de ejercicio que se requiera cuantificar (Cejuela & Esteve-Lanao, 2011), dentro de los principales autores encontramos Morton (1990), Lucía (1999), Edwards (2003), Busso (2003), Rusko (2003), Stagno (2007) y Manzi (2009).

El objetivo de la investigación es cuantificar la carga interna del entrenamiento mediante el TRIMP y determinar su relación con la cuantificación de la carga externa por medio del método del RPE en corredores de fondo y medio fondo del equipo representativo de la Universidad Autónoma de Nuevo León durante un proceso de entrenamiento de tres microciclos clasificados de la siguiente manera: Adaptación, Intensidad submaxima y alta intensidad.

La justificación del presente proyecto se sustenta en la necesidad que tienen los entrenadores de controlar la carga de entrenamiento como herramienta esencial para

conseguir mejoras en el rendimiento deportivo y por ende resultados positivos en el deporte de alto rendimiento a corto, mediano y largo plazo y sobre todo a bajo costo, lo cual resulta determinante y conveniente para incrementar el rendimiento físico en los atletas, puesto que en ocasiones entrenadores y deportistas en el intento por mejorar tanto las capacidades físicas como el desempeño, ponen en riesgo su carrera deportiva por considerar el simple hecho de incrementar los volúmenes de las sesiones e intensidades sin tener un conocimiento tangible de las causas probables de alguna meseta dentro de su formación deportiva, de los pros y contras de su actuar durante las sesiones de entrenamiento. Por lo tanto el beneficio de la realización de este trabajo es dar a conocer o familiarizar a los entrenadores con herramientas de control de la carga interna de entrenamiento desde un enfoque práctico y de retroalimentación casi inmediata y así evitar consecuencias negativas para la carrera deportiva de los atletas como lo son las lesiones y en su defecto sobreentrenamiento, adquiriendo así una relevancia social dadas las características de los métodos utilizados.

En un área de investigación como lo es el deporte pudiera inferirse que ya todo está descubierto y/o analizado, sin embargo este estudio puede contribuir en la generación de mejoras y aportes al modelo realizado por Banister, con factores y/o variables más exactas o índices fisiológicos que no se habían tomado en cuenta en los modelos expuestos en el presente documento.

1.2 Planteamiento del problema

Dado que en la actualidad existe una necesidad por incrementar tanto el rendimiento como el nivel deportivo de los atletas es importante determinar, cuál es la relación entre la carga externa e interna del entrenamiento como medida de control de la respuesta al estrés inducido por las sesiones de entrenamiento en el equipo varonil de atletismo de fondo de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

1.3 Marco Teórico

1.3.1 Entrenamiento

El concepto de entrenamiento deportivo ha sido utilizada desde los años 60's por entrenadores de atletas elite, quienes han llevado a cabo diferentes tipos de estructuración de trabajo para diseñar las sesiones de entrenamiento (Cissik, Hedrick, & Barnes, 2008); ya que resulta un proceso complejo y se divide en periodos a través de los cuales un deportista partiendo de su potencial genético puede alcanzar un determinado nivel de rendimiento de acuerdo a sus propios procesos de adaptación; la planificación del entrenamiento ofrece a los preparadores físicos una guía para organizar las cargas para afrontar las competencias fundamentales ya que un atleta de alto rendimiento tienen entre 1 y 2 competencias principales al año y de 8 a 12 competencias de preparación incorporadas dentro del programa anual (Issurin, 2008).

El concepto de periodización del entrenamiento es la planificación general y detallada que ocurre en un determinado tiempo, de acuerdo con objetivos previamente establecidos, respetándose los principios del entrenamiento deportivo (Dantas, García-Manso, Salum, Sposito-Araujo, & Gomes, 2010), la periodización debe ser de progresión sistemática y propia de cada disciplina deportiva que al mismo tiempo permita maximizar las adaptaciones de entrenamiento y al mismo tiempo prevenir el síndrome de sobre entrenamiento (Lorenz, Reiman, & Walker, 2010).

En un análisis realizado por Fleck, (2011) menciona que todos los tipos de entrenamiento pueden ser periodizados, mediante diferentes estilos que serán descritos en los siguientes apartados.

1.3.1.2 Periodización Tradicional

La periodización tradicional surgió en la década de los años 60's en la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, difundida inicialmente en Europa del Este por Leo Matveyev y después en los países del oriente, este modelo constituyó una parte fundamental en el deporte de alto rendimiento y es considerado como el marco de referencia inicial (Figura 1), presenta de manera jerárquica la periodización de los ciclos de entrenamiento, buscando obtener éxito en la situación en que se disponía en ese entonces, donde los deportistas contaban con un periodo relativamente largo de preparación y una competición relativamente corta (Dantas, García-Manso, Godoy, Sposito-Araujo & Gomes; 2010), sin embargo presenta deficiencias como lo es la respuesta fisiológica generada por el entrenamiento dirigido a muchas habilidades, produciendo fatiga excesiva en consecuencia de los periodos prolongados de entrenamiento y de múltiples tareas, provocando estímulos insuficientes debido a cargas de moderada y baja concentración y la inhabilidad para provocar más de un pico en la forma deportiva de los atletas en una misma temporada (Issurin & Yessis, 2012).

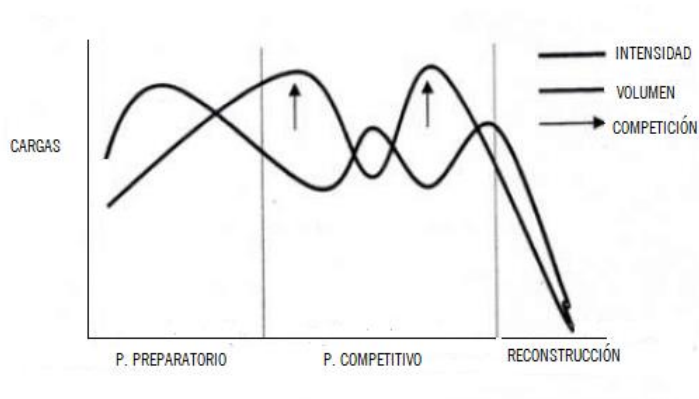


Figura 1. Estructura del plan anual de Matveev. (Recuperado del Libro “Teoría y Planificación del Entrenamiento Deportivo” José Campos Granell, Víctor Ramón Cervera, Editorial Paidotribo, Feb 7, 2006 - Sports & Recreation - 144 pp).

1.3.1.3 Estructura Pendular

Modelo propuesto en 1976 por Arosiev, citado por Verkoshansky, (2000) el cual emplea una alternancia rítmica, uniformada y poco pronunciada de los distintos componentes del entrenamiento se presenta un sistema “de preparación física especial” donde las cargas generales decrecen en cada período, mientras que las específicas aumentan progresivamente, en pos de potenciar las posteriores cargas competitivas, está basado en la idea de que el contraste entre carga general y carga específica conduce a una mejora de la capacidad específica del deportista. Propone dos tipos de micro-estructuras (o microciclos), dentro de cada período de preparación, una principal (la específica), y otra de regulación (la general). En los microciclos principales, se pretende el desarrollo del objetivo del período al que correspondan, mientras que en los reguladores, se espera lograr una recuperación de la capacidad de trabajo especial, estimulada previamente en el microciclo anterior (Figura 1). Está orientado a los deportes de lucha y combate, y es aplicable a aquellos deportes individuales con alta exigencia técnico-táctica, en los que se requiere que el sujeto alcance su mejor forma deportiva varias veces en el año, sin embargo su estructura no contempla los esquemas individuales (Costa, 2013).

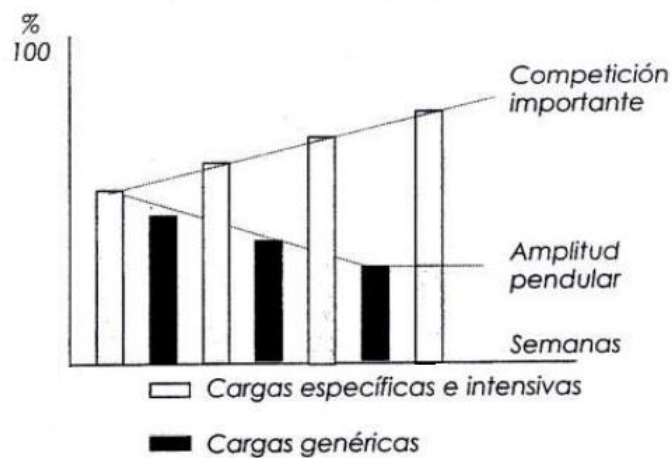


Figura 2. Estructura Pendular de Arosiev (Recuperado del Libro “Teoría y Planificación del Entrenamiento Deportivo” José Campos Granell, Víctor Ramón Cervera, Editorial Paidotribo, Feb 7, 2006 - Sports & Recreation - 144 pp).

1.3.1.4 Periodización por Bloques

Desarrollado por Verkhoshansky en 1979, se refiere a un ciclo de formación de cargas de trabajo altamente concentradas y especializadas, basada en el efecto residual del entrenamiento (Costa, 2013; Issurin, 2008). Esta definición corresponde a la comprensión común del bloque como unidad compacta y autónoma, de varios elementos amalgamados para una función específica. Esta consideración lleva a varias consecuencias lógicas, una de ellas es el desarrollo de un proceso que incluya cambios morfológicos, orgánicos y bioquímicos, donde se requiere un período de tiempo suficientemente largo de aproximadamente 2-6 semanas denominado *bloque*, que corresponde a la duración de los mesociclos (Issurin, 2008a); sugiere comenzar la programación con un desarrollo “funcional-energético” (bloque A), lo que implicaría lograr adaptaciones anatómico-fisiológicas necesarias en relación directa a la especificidad del deporte, necesarias para cimentar los sucesivos bloques. Seguido del bloque A, propone desarrollar las adaptaciones relacionadas con las demandas

específicas del deporte, atendiendo a la técnica y a la capacidad reactiva del músculo; buscando una “intensificación” del trabajo (bloque B) y por último (en el bloque C), se deben realizar entrenamientos de “competición”, lo que implica el máximo nivel de carga, en pos de mejorar la potencia y velocidad de competencia (Figura 3.); este tipo de periodización es recomendable solo en deportistas elite (Campos & Cervera; 2006).

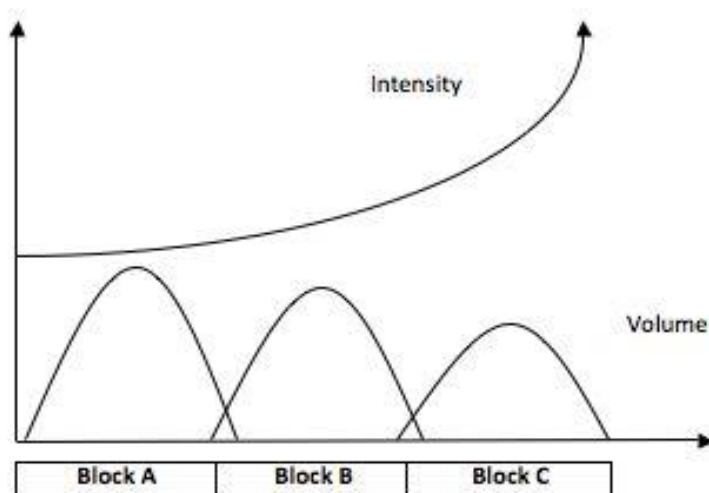


Figura 3. Periodización por Bloques. (Recuperado del Libro “Teoría y Planificación del Entrenamiento Deportivo” José Campos Granell, Víctor Ramón Cervera, Editorial Paidotribo, Feb 7, 2006 - Sports & Recreation - 144 pp).

1.3.1.5 Periodización por Altas Cargas

Arkady Vorobiev en 1974 propone un sistema orientado al entrenamiento

de halterófilos basado en “saltos” de la carga (Figura 4), con el objetivo de evitar las adaptaciones neuromusculares estereotipadas, que tiene lugar cuando los estímulos son constantes y uniformes, se opone a lo planteado por

Ozolin respecto a la importancia de la formación general, sosteniendo que la base de cualquier deporte, es la preparación especial. Haciendo uso prioritario de las cargas específicas de entrenamiento. Sin embargo, propone comenzar la temporada con un aumento preferentemente del volumen y con cierto retraso del incremento de la intensidad; para luego, aumentarla en un período precompetitivo, mientras estabiliza o incluso desciende levemente el volumen. Se caracteriza porque tanto el volumen y la intensidad se concentran a niveles máximos y sub máximo, por cual los objetivos adaptativos deben ser muy claros y específicos acordes con las posibilidades del deportista (Weineck, 2005).

Posteriormente Peter Tschene en 1977 replantea el modelo y lo orienta a aquellos deportes donde existen múltiples competiciones en el ciclo anual, similar al de Vorobiev por lo elevado de sus cargas, pero con ciertas particularidades; sostiene la ondulación de la carga, con frecuentes cambios en los aspectos cualitativos (intensidad, densidad, descanso), así como en los cuantitativos (duración, volumen, frecuencia), usa las competiciones como forma de entrenar específicamente la intensidad además de proponer intervalos “profilácticos” y sugerir un control del entrenamiento (Weineck 2005).

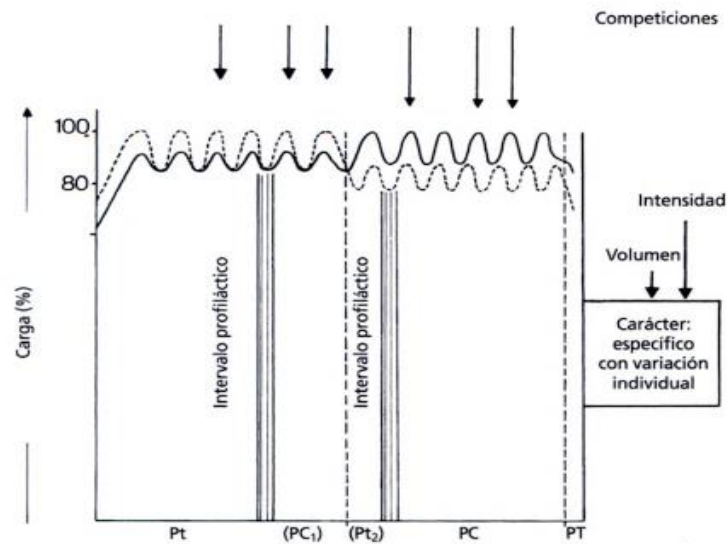


Figura 4. Estructura del modelo de periodización por altas cargas propuesto por Tschiene. Recuperado del libro “Entrenamiento Total”. Jürgen Weineck, Ed. Paidotribo.

1.3.1.6 Periodización ATR

En 1985 Issurin, V.B. y Kaverin, V.F., proponen una periodización en bloques bien diferenciados, uno de Acumulación, otro de Transformación y el último de Realización. Este modelo es conocido como “A.T.R.”; el cual sugiere respetar la consecución A.T.R. antes de cada competición, siempre se atiende a la cualificación del deportista y la especificidad del deporte. Cada bloque tiene un objetivo en particular, en el bloque de acumulación se incrementa el potencial técnico y motor; en la transformación se realiza la conversión del potencial de las capacidades motoras y técnicas, en la preparación específica. Y por último en el de realización se lleva a cabo el logro de los mejores resultados dentro del margen disponible de preparación. Proponen comenzar el programa priorizando las capacidades con mayor efecto residual, seguidas por las de menor efecto. De esta forma tienden primero al

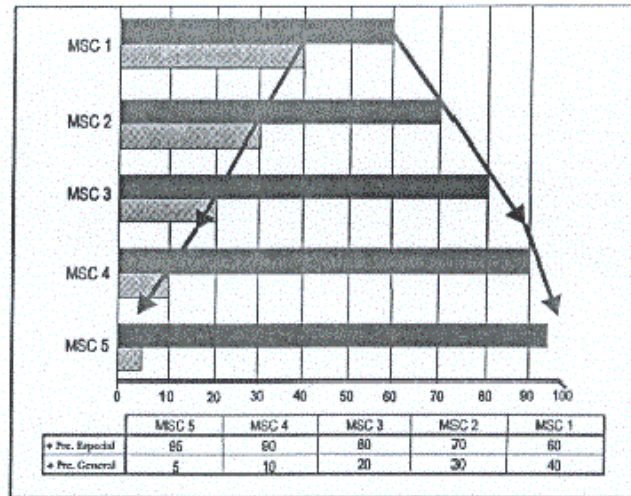
desarrollo de la resistencia oxidativa y fuerza máxima; luego a la resistencia glucolítica y la fuerza resistencia; finalizando con la velocidad y competencia misma (Issurin & Yesis, 2012).

1.3.1.7 Periodización Ondulatoria Diaria

Es un modelo de periodización del entrenamiento, propuesto en 1988 por Poliquin se ha demostrado ser más efectivo para la periodización de la Fuerza, utiliza una forma de variación del volumen de la carga de entrenamiento en la cual es, modificada cada sesión dentro de una misma semana, generando variaciones en el estímulo de entrenamiento, lo cual sugiere una mayor producción fisiológica y de rendimiento en las adaptaciones. Sin embargo esto depende del potencial y habilidades propias de cada deportista o atleta (Lorenz, Reiman & Walker, 2010; Painter, Haff, Ramsey, McBride & Triplett, 2012).

1.3.1.8 Periodización por Campanas Estructurales.

Modelo propuesta por Armando Forteza de la Rosa en 1998 y citado por Costa (2013) en respuesta al problema que podría ocasionar el trabajo propuesto por Vorobiev; el autor sugiere una estructura de “campana”. Así las cargas de preparación especial, deben estar siempre por encima de la general, lo cual le permite al atleta la participación competitiva casi desde el inicio del ciclo de entrenamiento. Para confeccionar estas campanas se debe determinar primero las “direcciones del entrenamiento” (entendidas estas como una forma más compleja de ver a los contenidos básicos y específicos). Así se establecen las que son “determinantes” del rendimiento, y aquellas que son “condicionantes” del mismo (Figura5). Las direcciones determinantes del rendimiento (DDR), son los contenidos de la preparación que caracterizan una especialidad deportiva (similar a las cargas especiales de Vorobiev); y las direcciones condicionantes del



rendimiento (DCR), son los contenidos que influyen en forma mediata al que condicionan la efectividad de la preparación física (similar a las cargas Vorobiev). Cabe mencionar que en cada mesociclo las DDR serán mayores que las DCR, y siempre tendrán una profunda interconexión entre ambas.

Dadas la circunstancias propias de cada disciplina deportiva, el entorno social, el nivel de conocimiento de los entrenadores, la factibilidad de entrenar en áreas adecuadas y demás circunstancias positivas y negativas, hoy en día los entrenadores organizan las cargas de entrenamiento adaptándolas a su realidad y objetivos, adecuando los modelos de planificación y periodización anteriormente descritos, sin embargo es importante describir los componentes del entrenamiento los cuáles son el punto de partida para maximizar el potencial de las sesiones de entrenamiento, uno de ellos es la carga de entrenamiento.

Figura 5. Periodización por Campanas Estructurales de Forteza de la Rosa, 1998. Recuperado de: <http://rafidortegon.blogspot.mx/p/criticas-la-macroestructura-de-matveiev.html>

1.3.2 Carga de entrenamiento

Se denomina carga de entrenamiento al estímulo o estímulos inducidos por una sesión o por un solo día de entrenamiento, ya sean de tipo generales, especiales y competitivos, adecuadamente dosificados capaces de producir modificaciones morfológicas, funcionales, bioquímicas y psíquicas que posibiliten la adaptación del organismo al esfuerzo físico (Suay i Lerma, 2003); se relaciona con el trabajo muscular producido para cumplir un régimen dado de ejercicio en el entrenamiento o en la competición. Este trabajo muscular es un potencial de entrenamiento que se traduce en un efecto apropiado en el cuerpo, es ajustado durante un mismo ciclo de entrenamiento e incrementa o disminuye dependiendo la orientación del trabajo aplicado (Halsen, 2014). Por lo tanto, el efecto del potencial de entrenamiento está determinado en parte por la forma física del deportista (Verkhoshansky, 2000), de manera que la carga total de una sesión de entrenamiento puede ser de diferentes tipos y varía en función de los objetivos de la sesión y del periodo de entrenamiento, puede ser: excesiva si sobrepasa la adaptabilidad del organismo y provoca agotamiento; estimulante, cuando se alcanza la capacidad de adaptación e induce el efecto deseado; de mantenimiento, cuando la capacidad de adaptación no sufre variaciones, pero se encuentra en un buen nivel; con carga de recuperación: es insuficiente para evitar los efectos de la falta de entrenamiento, pero favorece los procesos de recuperación tras una carga estimulante (Calderón, Benito, Meléndez-Ortega, & González, 2006; Viru & Viru, 2003).

De manera que la carga de entrenamiento presenta diversos componentes que son: Intensidad (fuerza del estímulo) la cual es el volumen por unidad de tiempo y puede ser evaluada mediante la intensidad relativa de los ejercicios realizados; densidad, que se define como la relación temporal que existe entre fases de carga y recuperación (periodos de descanso); volumen, el cual es una característica cuantitativa que puede ser medida en kilómetros de distancia total peso total de los ejercicios, número de

repeticiones realizadas, frecuencia (número de las unidades de entrenamiento diaria/semanales) y complejidad (Viru & Viru, 2003).

En el entrenamiento, la relación entre la carga y la recuperación es el principio más importante del entrenamiento y son dependientes entre sí; por lo tanto es esencial recolectar y analizar la carga del entrenamiento tanto en tiempo como en contenidos (Hartmann & Niessen, 2011), la carga de entrenamiento se puede analizar desde dos perspectivas la externa e interna ya que un mismo valor de carga externa, supondrá un estímulo interno diferente en cada uno de los atletas de un grupo de entrenamiento por lo cual es importante diferenciarlas entre sí.

1.3.2.1 Carga Externa e Interna

La carga externa se define como el trabajo realizado por el atleta durante una sesión de entrenamiento y representa el valor objetivo de trabajo a fin de inducir la adaptación de uno o varios sistemas orgánicos que el entrenador programa para el deportista (Balsalobre-Fernández, 2015; Suay i Lerma, 2003) y son los componentes de la carga los elementos que permiten conocer el nivel de exigencia que se le exige al atleta sesión a sesión, como por ejemplo la velocidad de desplazamiento, potencia del esfuerzo, peso de la carga impuesta, entre otros, de manera que cuantificarlos resulta muy fácil (Pareja, 2010).

Sin embargo, el ritmo de adaptación al entrenamiento de cada persona es limitado y no se puede forzar más allá de la capacidad del cuerpo para desarrollarse (Gibala et al., 2006; Issurin, 2008), por lo que cada individuo responde diferente ante un mismo estímulo de entrenamiento (Borresen & Lambert, 2009). A esta respuesta individual se le denomina carga interna hace referencia al valor que un determinado estímulo le ha supuesto a un deportista

en función de sus propias características (Balsalobre-Fernández, 2015), como por ejemplo los parámetros de la frecuencia cardíaca, el consumo de oxígeno, la concentración de ácido láctico, entre otros, esto debido al impacto de la carga que soporta un organismo ya que no depende exclusivamente de las cargas administradas en el entrenamiento y se considera que es el resultado de un proceso en el cual se combinan la capacidad física del deportista, la regulación de los componentes del entrenamiento y la influencia de otros estresores provenientes de otros entornos (Cuadrado-Reyes, Chiroso , Chiroso, Martín-Tamayo, & Aguilar-Martínez, 2012; Suay i Lerma, 2003).

1.3.3 Fatiga

En el entrenamiento, se denomina fatiga a la incapacidad para mantener un esfuerzo requerido durante una sesión o ejercicio y puede ser determinada por el tipo de estímulo, tipo de contracción, duración del estímulo, frecuencia y/o intensidad del ejercicio, tipo de músculo, entre otras; además de ser influenciada por el ambiente y las condiciones en las que se desenvuelven los atletas (Halsón, 2014). La fatiga, constituye un objetivo parcial de todo programa de entrenamiento y se dice que para que una carga sea efectiva, su magnitud debe situarse entre el umbral de excitabilidad y el de máxima tolerancia del sistema afectado, lo que ocasiona una fatiga adaptativa la cual activa una respuesta funcional y estructural (Suay i Lerma, 2003). Sin embargo, la fatiga física puede tener un efecto negativo y aparece cuando la magnitud del ejercicio se escapa de las posibilidades de ejecución de cada individuo, estableciendo una relación estímulo-respuesta desproporcionada; de manera que la prescripción del ejercicio en las sesiones de entrenamiento comprende una dificultad considerable dada la diversidad de la etiología que la define y está condicionada por la interrelación entre los tres parámetros que condicionan la cuantificación del esfuerzo realizado: intensidad, volumen y densidad, las cuales determinan el tipo de fatiga manifestante (Fernández-Castanys &

Delgado, 2003). Dependiendo de la duración de la disminución del rendimiento físico la fatiga puede clasificarse de diversas maneras.

1.3.3.1 Fatiga Aguda

El origen de la contracción muscular voluntaria está en la transmisión de la orden de movimiento desde el sistema nervioso central (SNC) a través de los nervios motores hacia el músculo; una vez allí se genera un “potencial de acción” o despolarización de la membrana muscular en presencia de ATP, Fernández-Castanys & Delgado (2003) mencionan que las causas responsables de la manifestación de la fatiga podrían aparecer en cualquiera de los pasos intermedios involucrados, por lo que clasifican el término de fatiga aguda en fatiga de origen central (implicación del SNC o de la transmisión del impulso hasta la fibra) o fatiga de origen periférico (en la propia fibra muscular); en concreto, la fatiga aguda, ya sea de tipo central o periférica, es el decremento momentáneo del rendimiento, consecuencia del entrenamiento, que generalmente vuelve a sus valores iniciales al cabo de una hora y aunque actualmente se discute la necesidad de generar un cierto grado de fatiga para mejorar el rendimiento, está ampliamente extendida la idea de que ciertos niveles de fatiga aguda son deseables para producir el efecto de supercompensación (Balsalobre-Fernández, 2015).

1.3.3.1.1 Fatiga Central

Se habla de fatiga central cuando la causa de la misma, está por encima de la placa motora (unión entre el extremo de una neurona y la fibra muscular) y afecta a una o más de las estructuras nerviosas involucradas en la producción, mantenimiento o control de la contracción muscular y se establecen como posibles causas de su aparición:

1. Fallo en la activación neuronal debido a la transmisión del impulso nervioso desde la motoneurona hasta la fibra motriz, ya sea por alteraciones intrínsecas de las motoneuronas (hipoglucemia, incremento de los niveles de amonio, etc.); *feedback* negativo del músculo agonista con resultado del reflejo inhibitorio.

2. Fallos en la transmisión del potencial de acción al área post sináptica

3. Factores psicológicos como lo es la motivación para el ejercicio, que aunque ejerce una influencia negativa no hay evidencias de acción inhibitoria.

El sistema nervioso dispone de mecanismos para retrasar este tipo de fatiga como lo es el alternar la activación de unidades motrices (mientras unas trabajan permiten descansar a otras) y la sincronización de las distintas unidades motrices para generar la fuerza deseada. En aquellos deportes de fuerza máxima y coordinación compleja estos mecanismos podrían ser determinantes (Pancorbo, 2003).

1.3.3.1.2 Fatiga Periférica

Es la que afecta a las estructuras situadas por debajo de la placa motora y que intervienen en la contracción muscular, el proceso comienza una vez que llega el estímulo eléctrico y éste se transmite por toda la fibra; la fatiga puede aparecer en cualquier momento dentro del proceso de contracción presentándose:

1. Fallo en la membrana postsináptica de la placa motora dificultando la propagación del potencial de acción.

2. Fallo a nivel del retículo sarcoplásmico (RS) y su acoplamiento con los túbulos T.

3. Fallo a nivel de la unión del calcio con la Troponina-C.

4. Fallo a nivel de la interacción de la actina-miosina.

5. Fallo en la relajación.

1.3.3.2 Fatiga Crónica

Es la pérdida del funcionamiento óptimo de diferentes sistemas (nervioso autónomo, hormonal y muscular), debido a una sostenida y descompensada relación entre las cargas de trabajo y los periodos de recuperación, puede ser causada por:

1. Disminución de los ejes hipotálamo-hipofisiario y simpático-medulo-suprarrenal, lo que genera alteraciones en el funcionamiento del sistema endócrino.
2. Disminución de los aminoácidos de cadena ramificada que se utilizan en los músculos ejercitados, no específicamente como sustrato energético sino también con otras funciones como transportadores y catalizadores, afectando así al SNC.
3. La reducción de los niveles de glucógeno, asociado a un menor uso de la vía glucolítica y, por tanto a la formación de lactato. El propio daño muscular puede verse reflejado en el comportamiento de enzimas propias del músculo como la Creatin kinasa y otras sustancias como la mioglobina y la 3 metil-histidina (Pancorbo, 2003).

1.3.4 Adaptaciones al entrenamiento

El ejercicio provoca adaptaciones en el organismo las cuales son necesarias para la mejora del rendimiento deportivo, , ya que cuando se realiza actividad física regularmente durante un tiempo determinado, nuestro cuerpo se adapta en respuesta a esfuerzos sistemáticos y así mejoran las capacidades físicas(Mcgee, Fairlie, Garnham, & Hargreaves, 2009). El Síndrome General de Adaptación (SGA), descrito por Seyle en los años 30's es una respuesta adaptativa, secuencial e inespecífica del organismo ante cualquier estímulo estresante, como la carga de trabajo, que pone en peligro la homeostasis o

equilibrio biológico. El mantenimiento, en la proporción adecuada, del factor estresante es lo que permitirá a la larga una mejora del rendimiento, que fisiológicamente estará representado (en función de la orientación de la carga empleada) por un incremento de los sistemas tampón, del volumen sanguíneo, de la calidad y actividad enzimática, etc. (Fernández-Castanys & Delgado, 2003).

Algunas de las adaptaciones que se presentan son la capacidad oxidativa y los cambios en los sistemas energéticos, por ejemplo durante un corto período de entrenamiento de resistencia (5-7 días) aumenta la disponibilidad de glucógeno, pero se reduce la tasa de catabolismo del glucógeno durante el trabajo constante y sincronizado de ejercicio, lo que mejora la capacidad de resistencia (Gibala et al., 2006), el entrenamiento además, ayuda a incrementar el volumen de oxigenación máxima, pudiéndose apreciar durante las primeras 4 semanas si se entrena regularmente (5 o 6 veces por semana); mejora la respuesta excitatoria de las fibras de contracción lenta así como el número de capilares que rodean cada fibra muscular; este incremento en los capilares permite un mayor intercambio de gases, calor, deshechos y nutrientes entre la sangre y las fibras musculares activas, también se observan cambios en la función mitocondrial que mejora a su vez la capacidad de producción de ATP, se gana eficiencia en el uso de las grasas como fuente de energía para el ejercicio. Se incrementa el contenido de mioglobina muscular entre el 75% y 80% así como la capacidad de amortiguación muscular y la eficacia del movimiento, incremento del volumen sistólico, disminución de la frecuencia cardíaca, aumento del riego y volumen sanguíneo (Wilmore & Costill, 2007). Se dan lugar adaptaciones funcionales y morfológicas en el sistema cardiovascular como lo es el incremento de la cavidad ventricular izquierda y derecha además de incrementar el tamaño del miocardio, las que resultan no patológicas ni adversas para el sistema (Franzen et al., 2013); muchos rasgos de estas adaptaciones al entrenamiento son determinados por el volumen, intensidad y frecuencia, así como de la vida promedio de las proteínas y son específicos dependiendo del estímulo y método

de entrenamiento (Coffey & Hawley, 2007). La comprensión e interpretación de estos efectos es importante para planificar y analizar el entrenamiento. Se dice que demasiado entrenamiento sumado a un proceso de recuperación deficiente entre sesiones puede ocasionar un nivel de rendimiento menor al resultado (Busso, 2003).

1.3.5 Control y evaluación del Entrenamiento

La cuantificación, evaluación y prescripción de la carga de entrenamiento es probablemente el proceso más importantes en el incremento del rendimiento deportivo ya que un adecuado control y manejo de la carga de entrenamiento es crucial para optimizar el rendimiento (Gómez-Díaz, Pallares, Díaz & Bradley, 2013) prevenir problemas derivados de la fatiga, asegurar el desarrollo deportivo generado por la actividad física, así como el mantenimiento de los niveles alcanzados mediante el estímulo de las sesiones de entrenamiento, es recomendable incluir métodos de evaluación como lo es la monitorización de la carga, el agotamiento y el estrés generado en las sesiones como un componente del ciclo de entrenamiento (Elloumi et al., 2012).

Entre los métodos para cuantificar la carga existen métodos que se apoyan de la función neuromuscular, métodos de percepción del esfuerzo, marcadores biológicos (Halsen, 2014; Montero, 2006); algunos otros que se auxilian de la monitorización de la frecuencia cardiaca para evaluar la carga interna (Elloumi et al., 2012) por su característica no invasiva, además de ser confiables, precisos y ampliamente utilizados. .

La cuantificación del ejercicio puede ser documentada y analizada por medio de la carga de entrenamiento, es por ello que existen marcadores sensibles a las modulaciones de ésta, que pueden ser utilizados para monitorizar su impacto ya que el conocimiento del estado físico del deportista permite

seleccionar el estímulo adecuado para favorecer el desarrollo físico, como lo son la frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno y el umbral anaeróbico. En un estudio realizado por Borresen & Lambert (2009) indica que en un atleta, el comportamiento de la frecuencia cardiaca como respuesta al ejercicio, combinado con la duración del mismo, puede representar una medida objetiva del rendimiento que permite cuantificar la sesión de entrenamiento en unidades “medibles” de esfuerzo físico y no invasivo.

En otro análisis realizado por Mazon et al., (2013) se identifica y describe diversas herramientas o dispositivos, como lo son los acelerómetros, dispositivos GPS, contadores de paso, etc. siendo algunas de estas, capaces de medir en tiempo real y respaldando objetivamente los datos medidos respecto a la monitorización y cuantificación de la carga interna; además, describe el análisis antropométrico y la composición corporal para evaluar la pérdida de peso y el peso corporal como indicadores de los procesos catabólicos humanos, así como cambios o pérdidas de los fluidos corporales como indicadores de sobrecarga de entrenamiento que son valorados mediante métodos de bioimpedancia o aparatos especializados; medidas hematológicas como lo es la cuantificación de glóbulos blancos, rojos y demás componentes.

Marcadores biológicos como la Creatin Kinasa, Urea, glucógeno muscular, mecanismos y procesos antioxidantes que sirven como parámetros de estrés, daño muscular y degradación de proteínas catabólicas, ambas ayudan en la detección de síntomas de sobre carga debido a regímenes de entrenamiento extenuantes (Nie, Tong, George, Fu, Lin & Shi, 2011). Herramientas psicológicas diagnósticas como lo es la percepción del esfuerzo, perfiles del POMS, escalas de quejas, escalas de bienestar, cuestionarios de síntomas, por mencionar algunas, encontramos la escala de la recuperación total de la calidad, con sus siglas en inglés TQR Scale, la cual hace hincapié tanto en la percepción de recuperación de los atletas como en la importancia de medidas activas para mejorar el proceso de recuperación; encontramos también el método de la

Percepción del esfuerzo percibido (RPE) el cual esta ampliamente validado y utilizado para el control y monitorización del entrenamiento deportivo (Kenttä, & Hassmén, 1998).

1.3.5.2 RPE

Una forma de valorar, de manera no invasiva, el esfuerzo realizado en un entrenamiento o competición, basado en las sensaciones del deportista o capacidad de control interoceptiva durante el entrenamiento, se conoce como Percepción Subjetiva del Esfuerzo (PSE) o Rate of Perceived Exertion (RPE) en inglés; el cual en ocasiones, se encuentra como forma de cuantificación de la carga para un ejercicio en concreto dentro de una sesión de entrenamiento o como medio para cuantificar la carga de una sesión completa (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, & Marcora, 2004; Wallace, Slattery, & Coutts, 2009), fue desarrollado por Foster et al., (2001) y sugiere la asignación de un puntaje en la percepción global del esfuerzo para evaluar la sesión de entrenamiento el cual es multiplicado por la duración de la actividad física, cuantifica en escala de 0 a 10 los tipos de esfuerzo y se basa en la idea de que un organismo severamente fatigado debería percibir los esfuerzos como más intensos o difíciles de soportar, en la medida en que sus recursos están menguados. Este método es aplicado al menos 30 minutos después de terminada la sesión, con la ventaja de su simplicidad en la aplicación y no es indispensable usar algún dispositivo electrónico, o mediciones del tipo físicas o de los intervalos de descanso durante las sesión de entrenamiento (Cejuela & Esteve-Lanao, 2011); los elementos más utilizados para su valoración son las escalas de *Rate of Perceived Exertion*, presentadas por Borg en 1970 y la escala CR-10 diseñada por el mismo autor pero en el año 1982, que se muestran en la figura 6. (Suay i Lerma, 2003).

6. Escala
y Escala
de:

Escala de Borg Original		Escala de Borg Modificada	
1		0	Muy, muy suave
6		1	Muy suave
7	Muy, muy suave	2	Muy Suave
8		3	Suave
9	Muy suave	4	Moderado
10		5	Algo Duro
11	Bastante Suave	6	Duro
12		7	
13	Algo Duro	8	Muy Duro
14		9	
15	Duro	10	Muy, Muy Duro
16			
17	Muy Duro		
18			
19	Muy, muy duro		
20			

Figura
de Borg (1970)
CR-10 (1982).
Recuperada

<https://www.foroatletismo.com/entrenamiento/escala-de-borg/>

1.3.5.3 TRIMP

Generado por un interés en analizar las respuestas al entrenamiento, controlar los efectos y el nivel de adaptación de los deportistas a los estímulos de la carga diaria de entrenamiento, Banister, Carter, & Zarkadas, (1999) rediseñaron el modelo propuesto por Banister en 1985 el cual es una ecuación basada en la teoría abstracta de los sistemas dinámicos dentro de un proceso y reflejado en un modelo matemático, dicho modelo es

una entidad caracterizada de por lo menos un estímulo y una respuesta que se relacionan entre si basado en un principio matemático llamado “*Función de transferencia*”; esa respuesta corresponde al estímulo presentado y se caracteriza porque el comportamiento del sistema utiliza parámetros estimados a partir de observaciones; trabaja con modelos que incluyen la selección de variables que representan el estímulo y respuesta del sistema, identifica estos modelos y sus parámetros y es predicho por los comportamientos del sistema bajo determinadas circunstancias. En el rendimiento deportivo, esta función de transferencia se pondera utilizando una ecuación basada en el porcentaje medio de la reserva cardiaca, dando lugar a la ecuación denominada impulso de entrenamiento (TRIMP) y considera que el rendimiento es el balance entre funciones antagonistas negativas y positivas que se atribuyen a la fatiga y adaptación respectivamente (Busso & Thomas, 2006). Dado que la frecuencia cardiaca es comúnmente utilizada para monitorear la intensidad del ejercicio, se toma esta como indicador fisiológico del modelo, ya sea para evaluar la intensidad del ejercicio durante el entrenamiento o la competición (Stagno, Thatcher, & Van Someren, 2007), sin embargo se ha encontrado que el promedio de la frecuencia cardiaca será incorrecto al reflejar las demandas fisiológicas de los deportes intermitentes ni extenuantes (Lucía, Hoyos, Santalla, Earnest, & Chicharro, 2003). En consecuencia a diversos detalles encontrados en el modelo de Banister diversos autores se han dado a la tarea de explotar y modificar la ecuación inicial de manera que hoy en día se tiene modificaciones del Training Impulse, que se adecuan de acuerdo a las particularidades de cada deporte.

1.3.5.3.1 Banister

En 1985 Banister & Hamilton, desarrollaron un estudio en corredores de distancia durante 300 días de entrenamiento en donde utilizaron como método el TRIMP el cual propusieron como medida objetiva del desempeño de la fatiga desarrollada para cuantificar el entrenamiento y así compararla con cualquier variación debida a la deficiencia de hierro.

De este modelo se derivan valores intermedios de fatiga acumulada y aptitud física durante el entrenamiento, “denominados” como unidades arbitrarias de TRIMP (UA). En este modelo los autores proponen que una cantidad deliberada de entrenamiento, enunciada como $w(t)$ produce una cantidad proporcional de capacidad física $p(t)$ y fatiga $f(t)$ que se acumulan durante la sesión de entrenamiento y decaen constante y exponencialmente en el periodo intermedio entre sesiones, debido a esto puede ser comprado con los criterios de desempeño y rendimiento, los cuales dependen del estado de entrenamiento del atleta (Nummela & Vesterinen, 2013).

1.3.5.3.2 Iliuta y Dimitrescu

Los rumanos Iliuta y Dimitrescu, citados en diversos estudios por Cejuela-Anta & Esteve-Lanao (2011); Berdejo-del-Fresno, D.; González-Ravé, J.M. (2011); desarrollaron en 1978 la primera propuesta de multiplicar el tiempo por zonas de frecuencia cardiaca, al cual llamaron *Índice de Demanda Global o Intensidad* en donde sugirieron multiplicar la longitud del esfuerzo por la Frecuencia Cardiaca promedio expresada en porcentaje de Frecuencia Cardiaca Máxima o Frecuencia Cardiaca Basal, dividiéndolas por el total de la duración del entrenamiento, quedando:

$$IOD = \frac{(Index\ of\ Overall\ Demand\ (Iliuta\ \&\ Dimitrescu,\ 1978).\\(duraci3n\ del\ esfuerzo\ en\ min)\ *\ (FC\ prom\ expresada\ en\ \% \ de\ FCmax))}{Tiempo\ total\ de\ entrenamiento}$$

Figura 7. Índice de demanda global. Recuperado del artículo:
Training load quantification in triathlon. Cejuela-Anta & Esteve-Lanao, (2011)
 Journal of Human Sport & Exercise J . Hum . Sport Exerc, 6(2).

1.3.5.3.3 Modificación Morton

Morton en 1990 sugiere agregar el valor “e” a la fórmula, el cual hace más representativo el factor *alta intensidad*, (Figura 8.) y en 1997 realiza un estudio con la finalidad de programar un entrenamiento que contara con una cantidad razonable de estímulos de entrenamiento con el fin de maximizar el potencial de rendimiento y minimizar el riesgo de fatiga y sobreentrenamiento, esta modificación al TRIMP está basada en un modelo no lineal en relación al comportamiento de la frecuencia cardiaca durante el entrenamiento y se espera que la respuesta a la fatiga resulte evidente en concordancia con el estímulo de entrenamiento y en el “sentir” del cansancio o la experiencia. Es por ello que la respuesta del estado físico puede ser aumentada y disminuida por el entrenamiento, sin embargo los incrementos sucesivos en el estado físico para el mismo impulso de entrenamiento se convierten progresivamente más pequeños y el estado físico adquiere mesetas aunque el número de TRIMPS es regularmente incrementado (Morton, 1997).

$$TRIMP = \text{duración del entrenamiento en min} * \Delta HR * 2.718 e^{(\text{Factor B} * \Delta HR)}$$

Donde:

$$\Delta HR \text{ ratio} = (\text{AverageHR} - \text{restingHR}) / (\text{maximumHR} - \text{resting HR})$$

Factor A = 0.86 and Factor B= 1.67 para mujeres

Figura 8. Modificación de Morton 1990. Recuperado del artículo: Training load quantification in triathlon. Cejuela-Anta & Esteve-Lanao, (2011) *Journal of Human Sport & Exercise J. Hum. Sport Exerc*, 6(2).

1.3.5.3.4 Stagno

Stagno, Thatcher & Van Someren, (2007) desarrollaron una versión modificada del TRIMP de Banister; en un estudio en el cual midieron lactato en sangre (LS) de jugadores de hockey y establecieron cinco zonas de FC basadas en los umbrales de LS y el inicio de la acumulación del lactato sanguíneo (*Onset of Blood Lactate Accumulation, OBLA*), arrojando el resultado en *TRIMPs* del tiempo acumulado en cada zona de FC multiplicado por su respectivo factor de ponderación (González-Fimbres, Griego Amaya, Cuevas-Castro, & Hernández Cruz, 2016). Este modelo refleja que es la frecuencia cardiaca la que indica si existe un incremento en la intensidad del ejercicio, al aumentar la ponderación exponencialmente y propone el ajuste a las zonas en relación con los dos picos importantes en los niveles de LS como respuesta típica de la curva de lactato.

La propuesta de Stagno cuantifica las diferentes zonas de la frecuencia cardiaca así como el tiempo acumulado en dichas zonas, siendo la suma de estas la demanda total de un periodo determinado de entrenamiento, asegurando que el estrés metabólico medido a través del método del porcentaje del ritmo cardíaco sea fiel reflejo de estrés

fisiológico de cada individuo impuesto por la sesión de entrenamiento y será específico para la población objeto de la investigación (Stagno et al., 2007).

1.3.5.3.5 Lucía

Basado en el modelo propuesto por Banister; Lucía, Hoyos, Santalla, Earnest y Chicharro, modifican la ecuación y proponen 3 fases determinadas por los umbrales anaeróbicos para propósitos de investigación en ciclistas, los cuales fueron evaluados por medio de una prueba de cicloergómetro en rampa; de manera que delimita las fases de la siguiente manera: fase 1 = por debajo del umbral, fase 2 = entre umbrales, fase 3 = por encima del 2º umbral; y concede 1 punto por cada minuto real dentro de la zona 1, 2 puntos por minuto en la zona 2 y 3 en la zona 3 (Lucía et al., 2003). La limitante de este método es que dependen de la frecuencia cardíaca, con todas las implicaciones que se tienen y sus posibles alteraciones y no pondera el tiempo de pausa ni permite la cuantificación por arriba de la Frecuencia Cardíaca Máxima además de que la ponderación de las zonas es muy amplia (Cejuela & Esteve-Lanao, 2011).

1.3.5.3.6 Busso

Busso, (2003), propuso un modelo no lineal denominado *Model 2-Comp*, en el cual introduce una variable de cuantificación del entrenamiento en relación con los cambios en la magnitud y la duración de la fatiga inducida por el ejercicio. Intentó explorar la respuesta a una sesión de entrenamiento acorde con cargas de entrenamiento ya hechas; realizó un algoritmo recursivo de mínimos cuadrados para permitir que los parámetros del modelo variaran con el tiempo, a través de su modificación mostró que el incremento de la frecuencia de entrenamiento produce un aumento progresivo de la magnitud y la duración de la fatiga inducida por un mismo tipo de entrenamiento. Para permitir esta

variación en la respuesta a la carga Busso propuso una ganancia para el componente negativo, el cual varía con la dosis de formación de acuerdo con una primera relación de orden, en el cual la respuesta a ese impulso es $k3 e^{-t/T^3}$. La expresión no lineal propuesta en el modelo debe producir una adaptación al rendimiento de una sola respuesta al estímulo, dependiente de la intensidad del entrenamiento previo. Estudios anteriores han demostrado que la introducción de la segunda variable es adecuada en situaciones de entrenamiento más estresantes para los atletas. El desarrollo del entrenamiento utilizando este modelo puede verse mejorado si se dividen los periodos de entrenamiento en fases dependiendo de las cargas de entrenamiento pero podría ser imperfecto para describir la respuesta al entrenamiento con varios regímenes. (Busso & Thomas, 2006).

1.3.5.3.7 Zonas de Frecuencia Cardíaca de Edwards

El modelo propuesto por Edwards en el 2003, se enfoca a la cuantificación del entrenamiento por intervalos, calcula el tiempo en cada zona de las cinco zonas de la frecuencia cardíaca acordes a la frecuencia cardíaca máxima de cada individuo, expresado como un porcentaje frecuencia cardíaca máxima, de manera que el número de zona se utiliza para cuantificar la intensidad del entrenamiento; y se calcula como el total acumulado de tiempo gastado en cada zona de entrenamiento, es decir la sumatoria de la duración en la zona 1 x 1, más la duración de la zona 2 x 2, más la duración en la zona 3 x 3, más la duración en la zona 4 x 4, más la duración en la zona 5 x 5. La limitante en su modelo es que no permite medir el tiempo de las pausas ni cuantificar por encima del 100% de la Frecuencia cardíaca máxima (Berdejo-ddel-Fresno & González-Ravé, 2011).

1.3.5.3.8 Rusko

En 2003, Rusko desarrolla un método similar basado en la frecuencia pero aplicado a la cuantificación del trabajo aeróbico el cual requiere el uso de tecnología “FirstBeat”, que necesita pulsómetros especiales donde los datos no tiempo real, se tienen que archivar y descargar para ser analizados en un software específico. Tiene una ventaja teórica basada en un mecanismo de respuesta fisiológica del propio cuerpo humano llamado EPOC donde el consumo de oxígeno se mantiene por encima del nivel de reposo en el periodo posterior al ejercicio. Este atractivo modelo de Rusko incluye un cálculo complicado y un monitor de la frecuencia cardiaca así como el software llamado SUUNTO, sin embargo no han sido encontradas investigaciones en donde se informe sobre su uso. (Cejuela-Anta & Esteve-Lanao, 2011).

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Determinar la relación entre la carga interna y externa del entrenamiento durante tres microciclos de entrenamiento del equipo representativo de Atletismo (Fondo y Medio Fondo) de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

1.4.2 Específico

Cuantificar mediante el modelo matemático propuesto por Banister (TRIMP) el rendimiento deportivo de los atletas.

Contrastar y comparar mediante el método de la Sesión RPE el comportamiento de la muestra de manera subjetiva con los resultados obtenidos por medio del TRIMP.

Monitorear el comportamiento de la Frecuencia Cardiaca de los atletas por medio del dispositivo Polar Team 2.

1.5 Pregunta de investigación

¿El modelo propuesto por Banister puede cuantificar el rendimiento deportivo en los atletas?

¿Existe relación entre el comportamiento del método de la sesión RPE con los resultados obtenidos por medio del TRIMP de Banister?

Capítulo II

2. Metodología

2.1 Metodología

El diseño de la investigación es de tipo no experimental transeccional– causal (Hernández-Sampieri, 2014).

2.2 Población

La población fue constituida por integrantes del equipo representativo varonil de Atletismo de Pista de la disciplina fondo y medio fondo “Tigres” de la Universidad de Autónoma de Nuevo León.

2.3 Muestreo

No probabilístico por conveniencia

2.4 Muestra

Se contó con la participación de dieciocho corredores de resistencia entrenados con experiencia nacional e internacional (edad: 20.1 ± 2.7 años; peso: 64.2 ± 7.63 kg; talla: 174.32 ± 6.2 cm; VO_{2max} : 57.54 ± 7.34 L), especialistas en pruebas de 800 m (5), 1500 m (4), 3000 m con obstáculos (1), 5000 m (5), 10,000 m (1) y 21 km (2). del equipo Tigres de la Universidad Autónoma de Nuevo León, considerando los siguientes criterios:

2.5 Criterios de Inclusión

- Pertenecer al equipo representativo de Atletismo en la disciplina de fondo y/o medio fondo de la Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Cumplir con los entrenamientos planificados por el entrenador.
- Asistencia y realización de todas las pruebas o análisis que requiera la investigación.

2.6 Criterios de Exclusión

- Contar con alguna lesión o enfermedad que pudiera afectar los propósitos del estudio
- Que el atleta consuma algún medicamento que afectara los propósitos del estudio
- No aceptar las condiciones del estudio
- Incumplimiento de alguna de las pruebas o análisis.
- Haber sufrido alguna lesión durante el proceso de investigación que le haya impedido asistir a los entrenamientos.
- No haber cumplido con al menos el 90% de asistencia a las sesiones de entrenamiento.

2.8 Procedimiento de Reclutamiento

Los sujetos de estudio fueron informados del procedimiento a seguir previo al inicio del estudio mediante una junta informativa que tuvo como sede la Facultad de Organización Deportiva de la Universidad Autónoma de Nuevo León, en donde estuvieron presentes todos los miembros del equipo, entrenador e investigadores; una vez que se les explico en qué consistía el estudio se les

pidió a los atletas que aceptaron participar, firmaron una carta de consentimiento informado conforme a las consideraciones éticas de la Asociación Médica Mundial (AMM) y de acuerdo a la Declaración de Helsinki, la cual insta a otros involucrados en la investigación médica en seres humanos a adoptar estos principios.

2.9 Variables

- Indicadores de carga interna a través del TRIMP en unidades Arbitrarias
- Esfuerzo percibido de la sesión de entrenamiento (RPE) en unidades Arbitrarias

2.10 Procedimiento

Al inicio del estudio a cada participante se le realizó un expediente médico personal, el cual contenía datos tales como: nombre completo, edad, sexo, fecha de nacimiento, entre otros, así como también información correspondiente a la experiencia deportiva (años de práctica) e historial clínico, este procedimiento fue realizado por un médico del deporte de la Facultad de Organización Deportiva.

A todos los sujetos se les realizaron pruebas de VO2Max antes de iniciar y al finalizar el protocolo de investigación mediante una prueba incremental por etapas realizada en una banda sin fin TUFF TREAD modelo White Phoenix LLC (15% de inclinación con un alcance de 16 millas por hora), utilizando el “*Modular Laboratory QUARK Pulmonary Functional Testing*” marca COSMED, el cual se calibró previo al inicio de la evaluación y después de cada 5 evaluaciones.

2.10.1 Monitoreo de la Frecuencia Cardiaca mediante el *TRIMP*

Para el cálculo de la frecuencia cardiaca en reposo se tomaron los valores de la prueba incremental inicial; para el monitoreo de la frecuencia cardiaca y por consiguiente el cálculo del TRIMP, el cual se realizó durante 15 sesiones de entrenamiento, a través de tres microciclos durante el periodo de preparación física general al inicio de la temporada 2016.

Se utilizó el dispositivo Polar Team 2 en la opción de entrenamiento online utilizando dieciocho bandas así como el pulsómetro correspondiente (uno por cada sujeto) WearLinkwind Polar (Polar electro OY, Kempele, Finland), los cuales se colocaron en el tórax de cada atleta al inicio y durante toda la sesión de entrenamiento hasta finalizar cada una de las sesiones.

De dicho análisis se obtuvieron los datos de la frecuencia cardiaca promedio, así como la frecuencia cardiaca máxima de cada sesión, además de la duración del entrenamiento en minutos; los cuales son las variables necesarias para realizar el cálculo del TRIMP mediante la fórmula del modelo propuesto por Banister (Figura. 9).

$$W(t) = \text{Training Impulse} = \text{Duration Training (minutes)} \times k_1 \left[\frac{\text{HR}_{\text{Exercise}} - \text{HR}_{\text{Basal}}}{\text{HR}_{\text{Maximum}} - \text{HR}_{\text{Basal}}} \right]$$

k_1 is a non-linear weighting coefficient dependent on exercise heart rate and is given by the equation:

$$k_1 = 0.86 \cdot e^{1.67x} \quad \text{where } x = \text{fractional elevation of the maximum heart rate range}$$

e = base of the napierian logarithms

Figura 9. TRIMP de Banister (Banister & Hamilton, 1985).

2.10.2 Cuantificación del esfuerzo percibido de la sesión de entrenamiento (RPE)

Para el cálculo del esfuerzo percibido de la sesión de entrenamiento, cada sujeto de manera individual le asignó un puntaje a la percepción global del esfuerzo valorándolo dentro de una escala de 0 a 10 como se muestra en la figura 6. (Escala de Borg) para evaluar la sesión de entrenamiento, y multiplicada por la duración del esfuerzo (duración del entrenamiento en minutos), por lo menos 30 minutos después de terminada la sesión.

2.13 Análisis Estadístico

Los datos son presentados en estadística descriptiva (media \pm desviación estándar), para la prueba de normalidad de los datos se utilizó el test Shapiro Will, posteriormente se realizaron Anovas y la prueba post hoc de Tukey. Para todos los análisis estadísticos se utilizó un nivel de significación $p < .05$. Todas las pruebas estadísticas serán realizadas mediante el paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS v. 21 Inc., Chicago, Il. USA).

Capítulo III

Resultados

En la tabla 1 se presentan los datos descriptivos por semana de las variables sRPE y del TRIMP. Los resultados indican que el s-RPE presenta diferencias significativas entre los microciclos 1 y 2 con respecto al microciclo 3. La variable del TRIMP solo muestra diferencia significativa entre el microciclo 1 con respecto al microciclo 2.

Tabla1.

Descriptivos de la variable del TRIMP y RPE

		Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
sRPE	Microciclo 1	229.08 *	± 102.80	63.44	568.98
	Microciclo 2	194.46 *	± 63.06	66.52	337.20
	Microciclo 3	273.16	± 117.48	112.64	603.36
TRIMP	Microciclo 1	78.50 #	± 17.64	41.52	162.55
	Microciclo 2	67.55	± 15.39	29.70	103.37
	Microciclo 3	72.68	± 16.88	42.73	124.30

s-RPE = Session-Raiting Perceived Exertion. *Diferencia significativa ($p < .01$) respecto al microciclo 3. #Diferencia significativa ($p < .01$) respecto al microciclo 2.

Los resultados indican que el s-RPE presenta diferencias significativas entre las semanas e incluso entre los días de entrenamiento de la misma semana (figura 10), siendo la semana 3 con mayor cantidad de sesiones de alta intensidad percibida. Dentro del microciclo 3 se observan dos días (miércoles y viernes) con mayor percepción del esfuerzo por los atletas, reflejando mayor carga interna de entrenamiento.

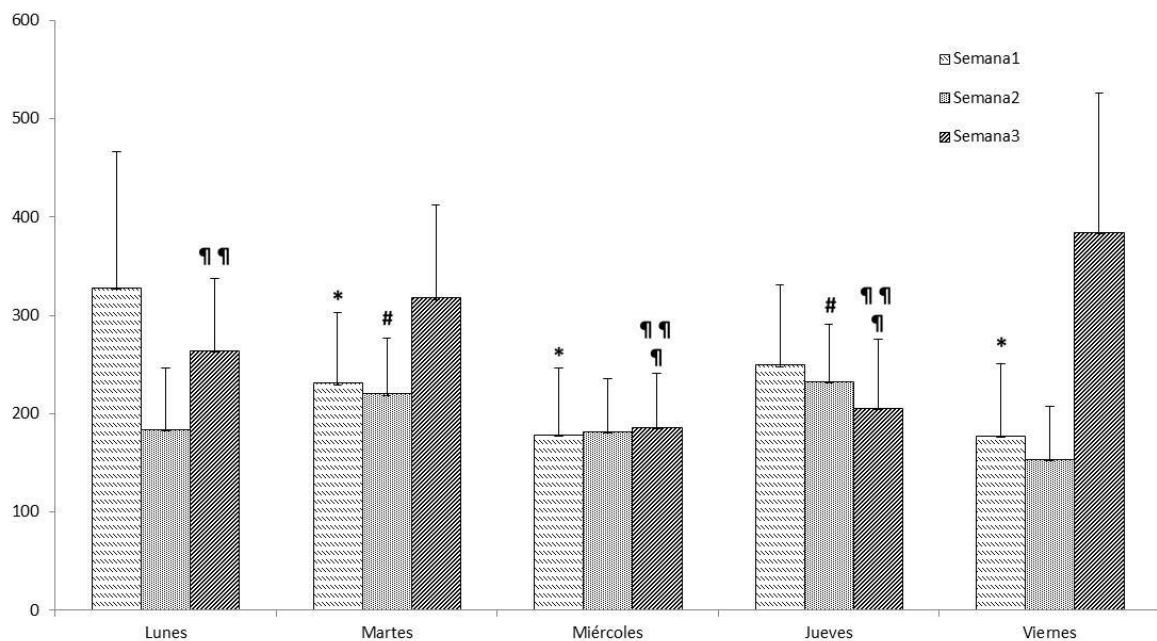


Figura 10. Resultados del cálculo del sRPE por sesión por microciclo.* $p < 0.05$ con respecto al lunes. # $p < 0.01$ con respecto al viernes. ¶ $p < 0.01$ con respecto al martes. ¶¶ $p < 0.01$ con respecto al viernes

En el comportamiento del TRIMP en el microciclo 1, se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la sesión del día lunes y miércoles con respecto al jueves siendo este día el de menor carga de entrenamiento medido a través de esta variable, este comportamiento se ve también con la sesión del viernes con referencia a la del lunes y miércoles. Para el microciclo 2, se observan diferencias significativas entre la sesión del Martes siendo esta la sesión con menor carga interna de trabajo con respecto a la sesión del miércoles ($p < 0.05$) y el jueves ($p < 0.01$). En el microciclo 3 se presentan diferencias significativas entre las sesiones del lunes, martes, jueves y viernes ($p < 0.01$) con respecto las sesión del miércoles, siendo este día el de mayor carga interna medido a través de esta variable (Figura 11).

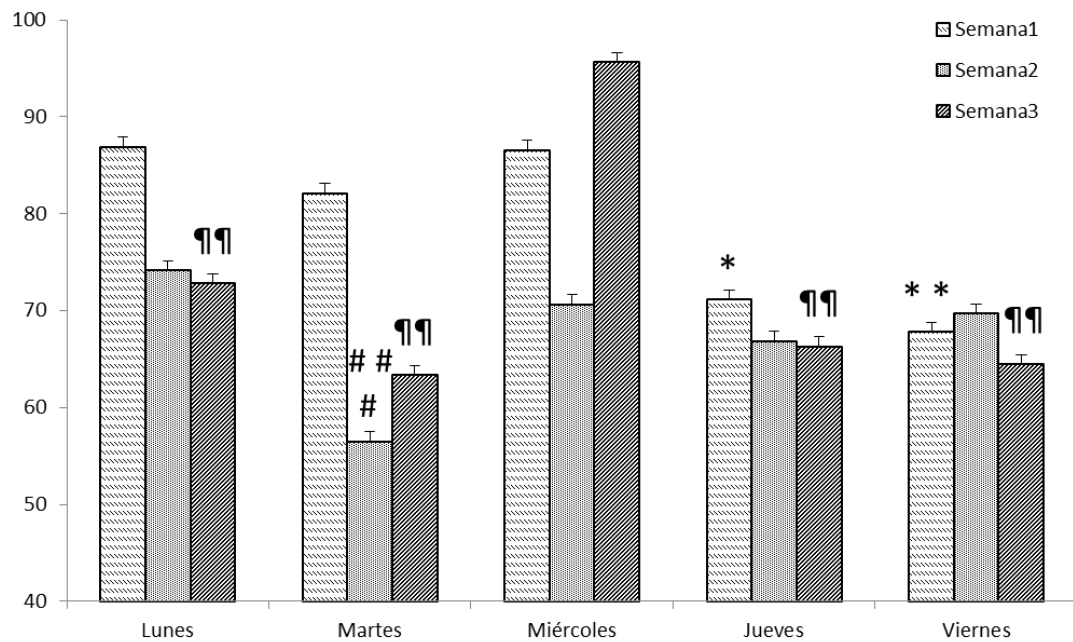


Figura 11. Resultados del TRIMP por sesión de entrenamiento por semana. * $p < 0.05$ con respecto al lunes y miércoles; ** $p < 0.05$ con respecto al lunes y miércoles. # $p < 0.05$ con respecto al miércoles; ## $p < 0.01$ con respecto al lunes. ¶¶ $p < 0.01$ con respecto al miércoles.

Capítulo IV

Discusión

El objetivo de nuestro estudio, fue cuantificar la carga interna del entrenamiento por medio del TRIMP y conocer si existe una relación entre el resultado de este modelo con la cuantificación del entrenamiento por medio de la sesión RPE, durante tres microciclos de entrenamiento (dos de adaptación y uno de carga) los cuales fueron establecidos y planificados por el entrenador del equipo, la variable RPE va en relación a la carga externa del entrenamiento y se observan diferencias significativas entre las sesiones de entrenamiento e inclusive entre los microciclos.

Particularmente en lo que respecta a los resultados del TRIMP durante el primer microciclo, indican que se generó un estímulo considerable para las sesiones de jueves y viernes con respecto al lunes, de manera que se infiere que fue la sesión correspondiente al primer día de entrenamiento (día lunes) el estímulo que más impacto tuvo en los sujetos durante este primer microciclo y manteniendo el nivel en los indicadores de percepción del esfuerzo los días subsecuentes; posteriormente durante el segundo microciclo los resultados se mantienen considerablemente respecto al primer microciclo, disminuyen durante el segundo día de entrenamiento pero muestran un incremento al día siguiente (miércoles) y se comportan de manera estable conforme a lo estructurado por el entrenador. Sin embargo, para el tercer microciclo los resultados incrementan respecto al segundo microciclo y presentan su nivel más alto para este tercer microciclo en la sesión correspondiente a lunes y miércoles.

De acuerdo con los resultados reportados por el TRIMP para la cuantificación de la carga interna, en un estudio realizado por García-Ramos et al., (2014) en nadadores en el cual se comparó la relación entre la sesión RPE como indicador de carga de entrenamiento con el TRIMP de Banister, se menciona que el TRIMP puede subestimar las cargas de entrenamiento ya que no discrimina entre ejercicio y periodos de descanso

y los expresa en un mismo valor de intensidad. Por otro lado, en un estudio similar realizado por Manzi, et al (2010), donde se controló la carga interna del entrenamiento en 8 jugadores profesionales de baloncesto durante 2 microciclos semanales de entrenamiento, en una temporada regular mediante el monitoreo de la frecuencia cardiaca y la sesión RPE; los resultados obtenidos en dicho estudio no muestran diferencias significativas entre ellos pero si entre sesiones de entrenamiento, lo que coincide con nuestro estudio. En el estudio de González-Fimbres et al., (2016) para determinar la influencia del volumen e intensidad de la carga de entrenamiento en la FC; en el cual se aplicó la misma carga de entrenamiento (52ua TRIMP) a 6 sujetos de nivel universitario, experimentados que practican disciplinas de tipo aeróbico, con base a los resultados obtenidos de ese estudio, los autores concluyen que el método del TRIMP subestima el aporte de la intensidad del ejercicio a la carga total de entrenamiento, además encontraron que a mayor intensidad del ejercicio resultan mayores valores de frecuencia cardiaca y una rápida disminución de la frecuencia cardiaca en reposo durante los primeros minutos, la cual puede ser un predictor del desempeño en deportes de carga continua como lo es nuestra muestra.

Si bien sabemos que nuestros resultado encontrados difieren con los resultados del RPE y no se ajustan a los resultados esperados ante los estímulos de entrenamiento inducidos; Márquez (2016) señala que el resultado del TRIMP está sujeto a la variación de la FC con las limitaciones que esto puede conllevar a la hora de medir el estrés psíquico y fisiológico del organismo, lo que nos lleva a inferir que posiblemente debido al estímulo de entrenamiento de los dos microciclos de adaptación y agentes externos como lo indican Saboul, Balducci, Millet, Pialoux, & Hautier, (2015) y dados los cambios cinemáticos de la frecuencia cardiaca en respuesta al ejercicio, en nuestro estudio no se

percibe un aumento en la carga interna del entrenamiento, pese a haberse planificado un microciclo de carga. Esta respuesta del estado físico según Morton (1997) puede ser aumentada y disminuida por el entrenamiento y los incrementos sucesivos en el estado físico se convierten progresivamente más pequeños, independientemente de que el número de TRIMP incremente. Similar a Morton, Rodríguez-Marroyo et al., (2011) en un estudio longitudinal realizado en ciclistas en el cual comparan la intensidad del ejercicio en diferentes momentos pero bajo las mismas circunstancias, sugieren ante este tipo de comportamiento en los resultados del TRIMP que el sistema nervioso central podría regular subconscientemente este esfuerzo para reflejar un mejor rendimiento.

Cabe señalar que Manzi, Iellamo, Impellizzeri, D'Ottavio, & Castagna, (2009) en su estudio con corredores amateur de 5000m y 10000m metros planos, donde se controló la carga externa del entrenamiento y se cuantificó la carga interna por medio del TRIMP de Banister y el "TRIMPi" durante 8 semanas el cual fue diseñado y propuesto para ese estudio generando valores individuales basados en la concentración de lactato en sangre a partir de una prueba incremental, la cual se realizó previo y posterior al protocolo de estudio y encontraron diferencias significativas entre estos dos modelos, sin embargo este estudio no mostró ninguna relación con el rendimiento del funcionamiento en distancias similares a las consideradas en dicho estudio por lo que se sugiere que cuando se esté trabajando con corredores amateur o semi profesionales se ponga énfasis a la hora de seleccionar el método con el que se va a controlar la carga.

Dentro de la variable de la sesión RPE cuyo resultado obtenido durante los 3 microciclos de entrenamiento se ha mostrado previamente, demuestran que su comportamiento está estrechamente relacionado con el objetivo del trabajo prescrito por el entrenador (dos microciclos de adaptación y uno de carga); de manera que el resultado de la percepción del esfuerzo durante el primer microciclo de las sesiones, es significativo respecto al lunes, siendo este día el de mayor percepción del esfuerzo; manteniendo los resultados dentro de un rango aceptable para lo percibido en los días

siguientes. Respecto al comportamiento en el segundo microciclo, el índice del esfuerzo percibido muestra un comportamiento normal en cuanto a la distribución de la carga diaria de trabajo mostrando valores aceptables que cumplen con el principio de variabilidad de las cargas de entrenamiento, además de coincidir con lo planificado para ese microciclo. Finalmente los resultados durante el tercer microciclo; muestran diferencias significativas en el total de las sesiones de entrenamiento, y es este microciclo en el cual se reflejan los niveles más altos de esfuerzo percibido por los sujetos a lo largo de los tres microciclos.

En un estudio similar al nuestro Borresen & Lambert (2008), cuantificaron la carga interna del entrenamiento durante 2 semanas y se compararon 3 métodos diferentes (TRIMP Banister, las Zonas de Frecuencia cardiaca de Edwards y el método de la sRPE) para evaluar la carga del entrenamiento en 33 sujetos; mostrando una correlación entre el TRIMP con la escala RPE, para el total de las cargas de entrenamiento, sin embargo los autores afirman que existen factores que influyen en la relación entre el trabajo, la carga del entrenamiento y la frecuencia cardiaca como lo son el nivel de entrenamiento, condiciones ambientales, duración del ejercicio, hidratación, altitud, entre otros; concluyendo que los atletas pueden monitorear inherentemente el estrés fisiológico que su cuerpo experimenta durante el ejercicio subestimando o sobre estimando la percepción del esfuerzo.

De manera que de acuerdo a la literatura consultada en estudios similares al nuestro, se conoce que el método de la sesión RPE es una herramienta ampliamente validada y útil en cuanto a la evaluación de la carga interna del entrenamiento, la cual presenta correlaciones positivas en la mayoría de los estudios en los que se compara con alguno de los modelos del TRIMP (Algrøy, Hetlelid, Seiler, & Pedersen, 2011; DellaValle & Haas, 2013;

Rodríguez-Marroyo et al., 2011), es por ello que los resultados de nuestro estudio se respaldan en los resultados obtenidos mediante el método de la sesión RPE y se refuerzan nuestros resultados con otros obtenidos en la literatura consultada sea cual sea la duración de los periodos evaluados como lo observado en un estudio de Minganti, Capranica, Meeusen, & Piacentini (2011) en donde se evalúa la efectividad del método RPE en la cuantificación de la carga de entrenamiento en clavadistas, utilizando y contrastando los resultados obtenidos, con el método de las zonas de frecuencia cardiaca durante 6 sesiones de entrenamiento. De manera que los autores confirman que aunque la sesión RPE es un indicador de la carga fisiológica e independiente de las habilidades deportivas, resulta una herramienta útil para monitorear la carga interna del entrenamiento, sin embargo no refleja el grado de dificultad de las sesiones.

Conclusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, podemos concluir que aunque el modelo propuesto por Banister cuantifica la carga interna del entrenamiento, subestima y/o sobreestima el estímulo generado en los atletas debido a diversos factores anteriormente mencionados; por lo consiguiente inferimos que si no se contrasta con otro método de cuantificación como lo fue en nuestro caso el RPE, la información obtenida puede ser deficiente o errónea lo cual puede impedir el incremento en el rendimiento deportivo.

Referencias

- Algrøy, E. A., Hetlelid, K. J., Seiler, S., & Pedersen, J. I. S. (2011). Quantifying training intensity distribution in a group of norwegian professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 70–81.
- Antonopoulos, C., Patikas, D., Koutlianos, N., Papadopoulou, S. D., Chatzopoulos, D., Hatzikotoulas, K., ... Kotzamanidis, C. (2014). The effect of fatigue on electromyographic characteristics during obstacle crossing of different heights in young adults. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(4), 724–730.
- Balsalobre-Fernández, C. (2015). *Monitorización y estudio de las relaciones entre la carga de entrenamiento, la producción de fuerza, la fatiga y el rendimiento en corredores de alto nivel*. Universidad Autónoma de Madrid.
- Banister, E. W., Carter, J. B., & Zarkadas, P. C. (1999). Training theory and taper: Validation in triathlon athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 79(2), 182–191. <https://doi.org/10.1007/s004210050493>
- Banister, E. W., & Hamilton, C. L. (1985). Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners. *Eur J Appl Physiol European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 54, 16–23.
- Berdejo-del-Fresno, D. (2015). Development and validation of a new method to monitor and control the training load in futsal: The FUTLOC Tool. *American Journal of Sports Science and Medicine*, 3(1), 23-27.
- Borresen, J., & Ian Lambert, M. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–795. <https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., ... Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and*

- Medicine in Sport*, 16(6), 550–555. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2012.12.003>
- Busso, T. (2003). Variable Dose-Response Relationship between Exercise Training and Performance. *Med. Sci. Sports Exerc*, 35(7), 1188–1195.
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000074465.13621.37>
- Busso, T., & Thomas, L. (2006). Using Mathematical Modeling in Training Planning. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 400–405.
- Calvert, Thomas W.; Banister, Eric W.; Savage, Margarte V.; Bach, T. (1976). A systems Model of the Effects of Training on Physical Performance. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 6(2), 94–102.
<https://doi.org/10.1109/SSP.2012.6319793>
- Campos J., & Cervera, V. (2006). *Teoría y planificación del entrenamiento deportivo* (Vol. 24).pp 38 - 39 .Editorial Paidotribo.
- Cejuela-Anta, R., & Esteve-Lanao, J. (2011). Training load quantification in triathlon. *Journal of Human Sport & Exercise J . Hum . Sport Exerc*, 6(2).
<https://doi.org/10.4100/jhse.2011.62.03>
- Cissik, J., Hedrick, A., & Barnes, M. (2008). Challenges Applying the Research on Periodization. *Strength and Conditioning Journal*, 30(1), 45–51.
<https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181637f83>
- Costa, I. A. (2013). Los modelos de planificación del entrenamiento deportivo del siglo XX. *Revista Electrónica de Ciencias Aplicadas al Deporte*, 6(22).
- Cuadrado, J., & Grimaldi, M. (2011). Medios para cuantificar la carga interna de entrenamiento en deportes de equipo. La frecuencia cardiaca, el consumo de oxígeno, la concentración de lactato en sangre y la percepción subjetiva del esfuerzo: una revisión. Recuperado el, 6(03), 2015.
- DellaValle, D. M., & Haas, J. D. (2013). Quantification of Training Load and Intensity in Female Collegiate Rowers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 540–548. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182577053>

- Elloumi, M., Makni, E., Moalla, W., Bouaziz, T., Tabka, Z., & Chamari, K. (2012). Monitoring Training Load and Fatigue in Rugby Sevens Players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 3(3), 175–184. <https://doi.org/10.5812/asjasm.34688>
- Fleck, S. J. (2011). Non-Linear Periodization for General Fitness & Athletes. *Journal of Human Kinetics Special Issue*, 29(A), 41–45. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0057-2>
- Foster, C., Florhaug, J. A., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L. A., Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A New Approach to Monitoring Exercise Training. *Journal of Strength and Conditioning Research National Strength & Conditioning Association J. Strength Cond. Res*, 15(151).
- Franzen, E., Mangold, S., Erz, G., Claussen, C. D., Niess, A. M., Kramer, U., & Burgstahler, C. (2013). Comparison of morphological and functional adaptations of the heart in highly trained triathletes and long-distance runners using cardiac magnetic resonance imaging. *Heart and Vessels*. <https://doi.org/10.1007/s00380-012-0289-7>
- García-Ramos, A., Feriche, B., Calderón, C., Iglesias, X., Barrero, A., Chaverri, D., ... Rodríguez, F. A. (2014). Training load quantification in elite swimmers using a modified version of the training impulse method. *European journal of sport science*, 1391(July), 1–9. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.922621>
- Gibala, M. J., Little, J. P., Van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., ... Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol*, 5753, 901–911. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112094>
- Gómez-Díaz, A. J., Pallarés, J. G., Díaz, A., & Bradley, P. S. (2013). Cuantificación de la carga física y psicológica en fútbol profesional: Diferencias según el nivel competitivo y efectos sobre el resultado en competición oficial. *Revista de*

Psicología del Deporte, 22(2), 463–469.

- González-Fimbres, R. A., Griego Amaya, H., Cuevas-Castro, C. S., & Hernández Cruz, G. (2016). Influencia del volumen e intensidad de la carga de entrenamiento en la frecuencia cardíaca de recuperación. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 30, 180–183.
- Halsen, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 44, 139–147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Hartmann, U., & Niessen, M. (2011). Performance diagnosis and training monitoring of human athletes in track & field running disciplines. En A. Landner (Ed.), *Applied equine nutrition and training* (1st ed., pp. 113–133). Netherlands: Wageningen Academic Publishers. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-740-0>
- Issurin, V. (2008). Block periodization versus traditional training theory: a review. *The journal of sports medicine and physical fitness*, 48(1), 65–75.
- Issurin, V., & Yessis, M. (2012). Entrenamiento deportivo: Periodización en bloques. Paidotribo.
- Kiviniemi, A. M., Hautala, A. J., Kinnunen, H., Nissil, J., Virtanen, P., Karjalainen, J., & Tulppo, M. P. (2010). Daily exercise prescription on the basis of hr variability among men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(7), 1355–1363. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cd5f39>
- Lorenz, D. S., Reiman, M. P., & Walker, J. C. (2010). Periodization: current review and suggested implementation for athletic rehabilitation. *Sports health*, 2(6), 509–18. <https://doi.org/10.1177/1941738110375910>
- Lucía, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., & Chicharro, J. L. (2003). Tour de France versus Vuelta a España: Which is harder? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5), 872–878. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000064999.82036.B4>
- Manzi, V., Iellamo, F., Impellizzeri, F., D'Ottavio, S., & Castagna, C. (2009). Relation between individualized training impulses and performance in distance runners.

Medicine and Science in Sports and Exercise.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a6a959>

- Martin Dantas, E. H., García-Manso, J. M., Salum, E., Sposito-Araujo, C. A., & Gomes, A. (2010). Aplicabilidad de los modelos de periodización del entrenamiento deportivo. Una revisión sistemática. *Revista internacional de ciencias del deporte*, 6(20), 231–241. <https://doi.org/10.5332/ricyde2010.02005>
- Mazon, J., Gastaldi, A., Di Sacco, T., Cozza, I., Dutra, S., & Souza, H. (2013). Effects of training periodization on cardiac autonomic modulation and endogenous stress markers in volleyball players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01357.x>
- Mcgee, S. L., Fairlie, E., Garnham, A. P., & Hargreaves, M. (2009). Exercise-induced histone modifications in human skeletal muscle. *J Physiol*, 58724, 5951–5958. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.181065>
- Minganti, C., Capranica, L., Meeusen, R., & Piacentini, M. F. (2011). The use of session-RPE method for quantifying training load in diving. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 408–418.
- Morton, R. H. (1997). Modeling training and overtraining. *Journal of sports sciences*, 15(3), 335–340. <https://doi.org/10.1080/026404197367344>
- Nummela, A., & Vesterinen, V. (2013). Testing a Model to Monitor Training Effect in Distance Running. *New Studies in Athletics*, 28(3/4), 71–86.
- Painter, K., & McBride, J. (2012). Strength Gains : Block Versus Daily Undulating Periodization Weight Training Among Track and Field Athletes. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 7, 161–169.
- Pareja, A. (2010). Carga física y adaptación orgánica. *Educación Física y Deporte*, 8(1-2), 57-65.
- Rodríguez-Marroyo, J. A., Pernía, R., Cejuela, R., García-López, J., Llopis, J., & Villa, J. G. (2011). Exercise intensity and load during different races in youth and junior

- cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 511–519.
- Saboul, D., Balducci, P., Millet, G., Pialoux, V., & Hautier, C. (2015). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *European journal of sport science*, (February), 1–10.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1004373>
- Stagno, K. M., Thatcher, R., & Van Someren, K. (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *Journal of Sports Sciences*, 25(6), 629–634.
- Suay i Lerma, F. (2003). El Síndrome de Sobreentrenamiento: Una visión desde la psicobiología del deporte (1a.).
- Verkoshansky, Y. (2000). Super Entrenamiento. Barcelona, Editorial Paidotribo.
- Viru, A., & Viru, M. (2003). Análisis y control del rendimiento deportivo (Vol. 24). Editorial Paidotribo.
- Walker, S., Davis, L., Avela, J., & Häkkinen, K. (2012). Neuromuscular fatigue during dynamic maximal strength and hypertrophic resistance loadings. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(3), 356–362.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.12.009>
- Wallace, L. K., Slattery, K. M., & Coutts, A. J. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: Relationships between modelled and actual training responses. *European Journal of Applied Physiology*, 114(1), 11–20.
<https://doi.org/10.1007/s00421-013-2745-1>
- Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2007). Fisiología del esfuerzo y del deporte.

Apéndices

Consentimiento Informado

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo _____ estoy de acuerdo en participar en el proyecto titulado “Cuantificación de la carga interna de entrenamiento en fondistas universitarios mediante el training impulse”, el propósito de este estudio es determinar la relación entre la carga interna y externa del entrenamiento durante tres microciclos de entrenamiento. Para ello se realizará al inicio del estudio un expediente médico personal, una prueba de VO₂Max antes de iniciar y al finalizar el protocolo de investigación mediante una prueba incremental por etapas; para el monitoreo de la frecuencia cardiaca se colocará un pulsómetro del dispositivo Polar Team 2 en el tórax al inicio y durante todas las sesiones de entrenamiento hasta finalizar cada una de las sesiones. Conjuntamente se me ha comunicado a detalle el objeto de mi cooperación y al aceptar participar en este proyecto de investigación, los resultados obtenidos serán manejados en forma confidencial y que en ningún momento se violará su privacidad. Entiendo también que todas las pruebas realizadas durante este estudio no implicarán ningún costo extra para mí y que los gastos serán absorbidos por el investigador, así como entiendo que los resultados obtenidos podrán ser publicados en revistas de divulgación científica. Entiendo que estoy en mi derecho de solicitar cualquier aclaración o información acerca de la investigación en cualquier momento del desarrollo de la misma y que estoy en la libertad de retirarme de este estudio en el momento que desee.

Firma: _____ Fecha: _____

Testigo 1: _____
Nombre y Firma

Testigo 2: _____
Nombre y Firma

Responsable de la investigación:

Dr. Germán Hernández Cruz

Tesista:

LCF. Liliana F. Reyes Fernández

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

L.C.F. LILIANA FABIOLA REYES FERNÁNDEZ

Candidata para obtener el Grado de Maestría en Actividad Física y Deporte con
Orientación en Alto Rendimiento Deportivo

Tesis: CUANTIFICACIÓN DE LA CARGA INTERNA DE ENTRENAMIENTO EN
FONDISTAS UNIVERSITARIOS MEDIANTE EL TRAINING IMPULSE

Campo Temático:

Datos personales: Nacida en H. Puebla de Zaragoza, Puebla; 2 de Junio
de 1991; hija del Ing. Javier Reyes Mendieta y la Lic.
Elia Araceli Fernández Carpintheyro.

Educación Profesional: Licenciatura en Cultura Física

Experiencia Profesional: Entrenadora Deportiva Equipos Infantiles, American
School Fundation Puebla.

Correo Electrónico: Docente de Educación Física, SEP
reyes.fa20@gmail.com